

В.А. Лобанов, Шукри Омар Абдулхакиим Али

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА АРАВИЙСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

V.A. Lobanov, O.A. Shukri

MODELLING OF SPATIAL CLIMATE CHANGES IN THE ARABIAN PENINSULA

В статье рассматриваются пространственные распределения климатических норм температур воздуха и осадков по территории Аравийского полуострова, а также оценка стабильности климатических норм. Вторая часть работы посвящена построению пространственных статистических моделей и исследованию их параметров во времени.

Ключевые слова: Аравийский полуостров, изменения климата, среднемесячные температуры и осадки, пространственные закономерности, климатические нормы, пространственные статистические модели.

The article considers the spatial distribution of climatic norms of air temperature and precipitation in the Arabian Peninsula, as well as assessment of stability climatic norms. The second part is devoted to the construction of spatial statistical models and study their parameters over time.

Key words: Arabian Peninsula, climate change, average monthly temperatures and rainfall, spatial regular properties, climate norms, spatial statistical models.

Установленные климатические изменения во временных рядах среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков на Аравийском полуострове приведены в работе [3]. В настоящей статье были исследованы пространственные распределения климатических норм, их устойчивость во времени и осуществлено построение пространственных статистических моделей и исследование их коэффициентов.

Климатические нормы температур воздуха и осадков рассчитывались за период, рекомендованный ВМО (1961–1990 гг.) и за весь имеющийся период, включающий как наблюдаемые данные, так и восстановленные пропуски наблюдений, составляющий в среднем около 100 лет. Помимо норм определялась также и изменчивость временных рядов, выраженная в виде среднего квадратического отклонения. Пример пространственного распределения норм и средних квадратических отклонений для температур воздуха января приведен на рис. 1.

Из анализа и сопоставления пространственных распределений параметров, приведенных на рис. 1 были установлены следующие закономерности:

- общая пространственная структура изменений остается практически одинаковой как за период ВМО, так и за весь период наблюдений и для норм температур характеризует их уменьшение с юга на север, а для средних квадратических отклонений наоборот — их увеличение с юга на север;

- за весь период наблюдений наиболее эффективно выделяется область с наибольшими температурами до 25–26°C на юго-западе Аравийского полуострова и с наименьшими — 7–9°C на северо-западе;
- аналогичным образом для среднего квадратического отклонения области пространственных минимумов и максимумов также более выражены при обобщении данных за весь период, чем за более короткий период ВМО и больше соответствуют пространственным климатическим закономерностям.

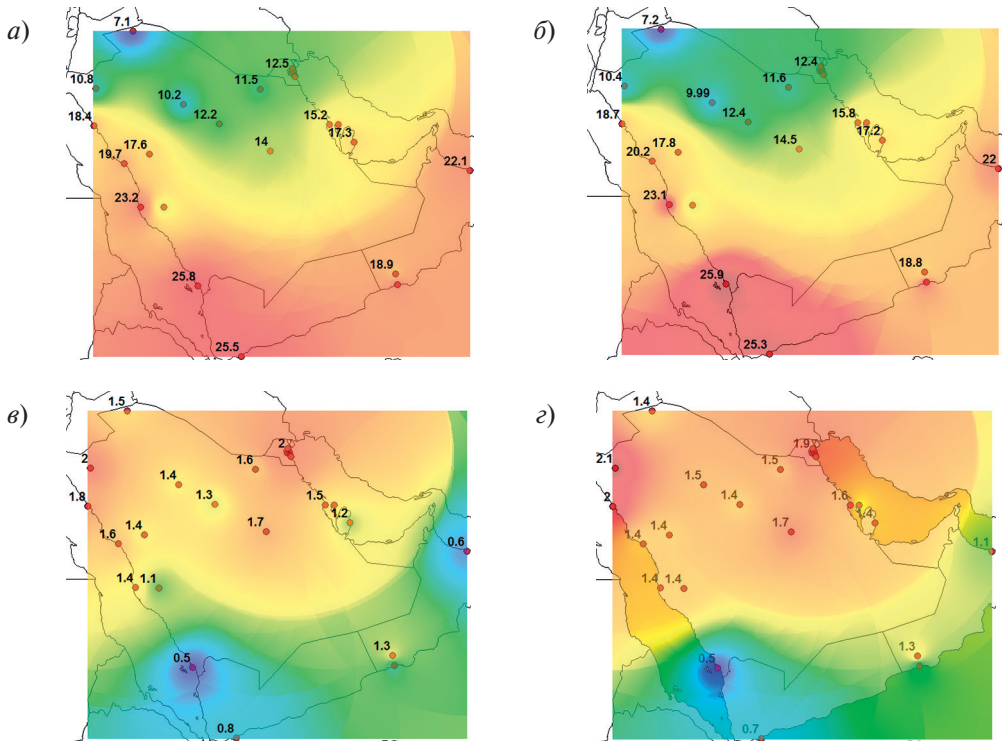


Рис. 1. Пространственная изменчивость параметров распределения температур января на Аравийском полуострове (а, б — норма температуры за период ВМО и за весь период наблюдений; в, г — среднее квадратическое отклонение за период ВМО и за весь период наблюдений)

Поэтому обобщать данные, если конечно они стационарны, за более продолжительный период надежнее, чем за 30-летний период, рекомендованный ВМО. Этот способ обобщения имеет и статистическую обоснованность, т.к. случайные погрешности любого параметра распределения тем меньше, чем больше объем выборочных данных [1, 2, 8]. Оценка устойчивости климатических норм на примере температур января показана в табл. 1, где приведены средние значения за 4 последовательных 30-летних интервала времени, а также общее изменение нормы за весь период как разность между максимальным и минимальным ее значением.

Таблица 1

Климатические нормы температур января (в °С), полученные за различные периоды

Код станции	Климатические нормы за периоды				Изменение нормы
	1901–1930	1931–1960	1961–1990	1982–2011	
40356	6,9	7,5	7,2	7,2	0,6
40373	11,3	11,5	11,5	11,8	0,5
40375	9,9	10,1	10,8	10,7	0,9
40394	9,5	9,8	10,2	10,2	0,7
40400	18,7	18,5	18,4	19,1	0,7
40405	11,7	12,5	12,2	12,6	0,9
40416	16,1	16,2	15,2	15,2	1,0
40430	18,1	17,6	17,6	17,8	0,5
40438	15,2	14,6	13,9	14,5	1,3
40439	19,9	20,3	19,7	20,8	0,9
40580	12,0	11,9	12,5	12,9	1,0
40581	12,6	12,5	12,8	12,5	0,3
40582	12,0	12,6	12,5	13,0	1,0
40583	12,3	12,7	12,8	13,1	0,8
40584	13,2	13,4	13,3	13,4	0,2
41020	22,6	22,9	23,2	23,1	0,6
41036	15,0	14,9	15,3	15,3	0,4
41140	26,1	25,9	25,8	25,9	0,3
41150	16,6	17,0	17,1	16,9	0,5
41170	16,7	16,6	17,3	17,4	0,7
41256		21,4	22,1	22,5	0,9
41314		18,6	18,8	18,7	0,2
41316	22,0	22,7	22,7	23,2	1,2
41480	24,6	25,6	25,5	25,7	1,1

Если считать, что случайная погрешность климатической нормы (σ_{cp}) определяется по формуле:

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений; n — объем выборки ($n = 30$ лет), то при значении $\sigma = 1-2^\circ\text{C}$, $\sigma_{cp} = 0,2-0,4^\circ\text{C}$.

В табл. 1 ярким цветом выделены изменения нормы, которые явно превышают ее удвоенную среднюю случайную погрешность, т.е. изменения составляют более $0,5-0,6^\circ\text{C}$. и поэтому их можно считать значимыми. Как следует из результатов, из

24 станций таких случаев, когда изменения нормы больше случайных, 14 и графики изменения их норм показаны на рис. 2. Из рассмотрения графиков следует, что направленный рост средних значений имеет место не на всех станциях и проявляется в основном или для высоких температур (метеостанции 41256, 41316) или для низких (метеостанции 40375, 40394), что имеет место в прибрежных районах и на севере. Поэтому можно считать, что центральная часть Аравийского имеет более стабильные нормы январских температур, чем остальные районы.

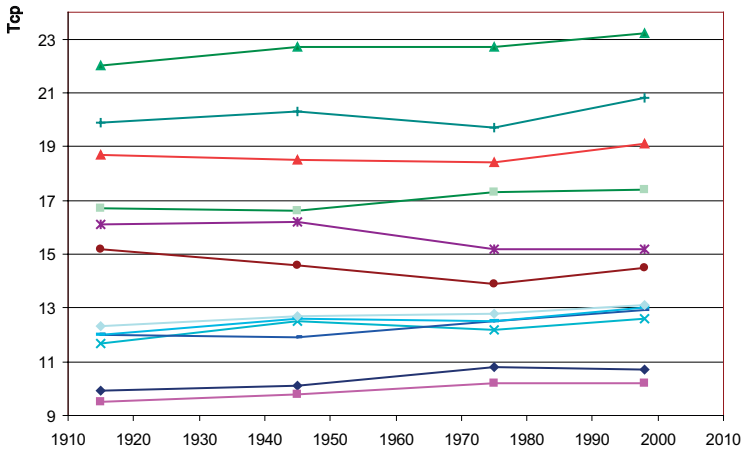


Рис. 2. Значимые изменения климатических норм температур января на метеостанциях Аравийского полуострова

Аналогичные исследования пространственного изменения климатических норм температур воздуха и осадков и их устойчивости во времени были проведены для других месяцев года. В результате получено, что:

- в холодные месяцы года наибольшие температуры воздуха имеют место на юге и в других прибрежных частях Аравийского полуострова (побережье Красного моря, Персидского залива) и минимальные — на севере и в центральной части, а пространственный градиент норм температур является наибольшим в году и достигает 19°C ;
- в теплые месяцы года максимумы температур смещаются во внутренние пустынные части полуострова, а минимумы — в прибрежные районы юго-востока и в северные районы, при этом пространственный градиент температур уменьшается до 10°C ;
- изменчивость многолетних колебаний температур воздуха в холодный период года наименьшая на юге и наибольшая в центре и на севере и изменяется по территории в 4 раза: примерно от $0,5$ до $2,0^{\circ}\text{C}$ и чуть более;
- изменчивость многолетних колебаний температур воздуха в теплый период года также наименьшая на юго-западе, а наибольшая в центре и на севере, но изменяется по территории меньше, чем зимой (примерно в 2 раза, а не в 4): от $0,6$ до $1,3^{\circ}\text{C}$;

- в осадках таких ярко выраженных пространственных закономерностей, как в температуре воздуха не наблюдается, хотя имеет место тенденция, что в прибрежных, особенно холмистых и горных частях полуострова осадков больше, чем во внутренних;
- по территории нормы осадков изменяются в холодный период от 2 мм в прибрежных районах юга и запада до 30 мм и даже до 70 мм на северо-востоке, а в теплый, наоборот, от 0,1–1 мм на севере и в центральной части до 60–70 мм в прибрежных юго-западных районах;
- изменчивость осадков тем больше, чем больше абсолютные значения осадков и в холодный период года варьирует от 1–2 мм на юго-западе до 20–40 мм во внутренних и северных частях полуострова, а в теплый период: от 0,1 мм в центральной части до 20–40 мм на юго-западе;
- для температуры воздуха наибольшая изменчивость норм во времени имеет место летом и достигает 2–3°C, а зимой в 2 раза меньше, хотя число рядов со значимыми изменениями примерно одинаковое — около 50–60 %, т.к. летом естественная изменчивость температуры больше, чем зимой и достигает 1–1,5°C;
- число станций с ростом норм температур невелико и также как и в выводах, полученных в предыдущей статье по моделированию временных рядов [3], рост норм наблюдается с 1980-х гг. и в большей степени в теплый период года, а нормы осадков остаются практически стабильными.

Во второй части проведенного исследования были построены пространственные модели для температур и осадков каждого месяца и осуществлен анализ динамики их коэффициентов во времени. Пространственные статистические модели для территории Аравийского полуострова были построены на основе методики, приведенной в работах [4, 5] и представляющие собой погодичные зависимости между полем климатической характеристики данного года и климатическим полем. Среднее многолетнее или климатическое поле образуется на основе средних многолетних значений климатической характеристики на каждой станции, представленных на географическом пространстве. Это климатическое поле характеризует географию климата на рассматриваемой территории и существует всегда, но в каждый год его границы и параметры изменяются в зависимости от совместного влияния факторов климата и адвекции данного года. Связь между многолетним климатическим полем и полем каждого года можно представить линейным уравнением:

$$Y_{ij} = A_{1j}Y_{срi} + A_{0j}, \pm E_{ij}, \quad (2)$$

где Y_{ij} — значение климатической характеристики на i -ой станции в j -ый год; $Y_{срi}$ — среднее многолетнее значение климатической характеристики на i -ой станции; A_{1j} , A_{0j} — коэффициенты уравнения, определяемые по МНК; E_{ij} — случайные отклонения.

Линейность модели (2) постулируется наличием единой функции климатического поля, как за каждый год, так и за многолетний период, что требует эмпирической проверки. Отличие полей проявляется в коэффициентах, из которых A_{1j} характеризует

градиент, а A_{0j} — уровень или положение пространственного поля, которое связано со средним по территории значением климатической характеристики. Если выразить случайные отклонения E_{ij} через их стандарт S_{E_j} , то этот параметр будет характеризовать внутреннюю неоднородность поля в каждый j -ый год. Таким образом, всю пространственную динамику поля можно выразить в виде многолетних рядов трех параметров A_{1j} , A_{0j} и S_{E_j} .

Еще одна особенность уравнения (2) состоит в том, что оно позволяет разделить поле климатической характеристики каждого года на две однородные составляющие Y_1 и Y_2 , где $Y_1 = A_{1j} Y_{cpi} + A_{0j}$ — климатическая составляющая поля, $Y_2 = E_{ij}$ — адвективная составляющая поля, которая характеризует проявление синоптических особенностей данного года по территории.

Для исследования параметров A_{1j} , A_{0j} и S_{E_j} во времени были применены три модели временных рядов, как и в работе [3]: стационарная выборка, модель линейного тренда и модель ступенчатых изменений.

В табл. 2 приведены результаты оценки эффективности моделей временных рядов для аппроксимации полученных параметров пространственных моделей A_{1j} , A_{0j} и S_{E_j} для территории Аравийского полуострова, где $\Delta_{тр}$, $\Delta_{ступ}$ — относительные отклонения или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки; $F_{тр}$, $F_{ст}$ — статистики критерия Фишера для оценки статистической значимости отличия от стационарной модели, $F_{ст}$ — год ступенчатых изменений, определенный по минимуму остаточных дисперсий двух частей временного ряда, $T_{нач}$, $T_{кон}$ — годы начала и окончания наблюдений, n — период наблюдений (в годах), R — коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Причем пространственное моделирование осуществлялось за разные периоды: весь период наблюдаемых и восстановленных данных, откорректированный период с исключением неоднородных восстановленных значений и последний 50-летний период, включающий 1960–2011 гг. В табл. 2 приведены результаты моделирования за последний 50-летний период.

Помимо среднемесячных температур моделировались также среднегодовые температуры ($T_{год}$) и параметры модели внутригодовых колебаний ($B1$, $B0$, Se), полученные в соответствии с методикой [6, 7]. Ярким цветом в табл. 2 выделены эффективные статистические модели для которых отличие от стационарной составляет 10 % и более, а также статистически значимые расчетные значения статистик критерия Фишера и коэффициенты корреляции линейного тренда.

Из данных табл. 2 следует, что нестационарность в параметрах пространственных моделей имеет место в летние месяцы и иногда это сказывается на нестационарности среднегодовых температур, как для параметра $A0$ и на коэффициенты модели внутригодовых колебаний как для параметра ASe . Хронологические графики нестационарных рядов параметров пространственной модели для температур летних месяцев показаны на рис. 3. Нестационарность параметра $A1$ для летних температур обусловлена его ступенчатым ростом в начале 1990-х гг., что особенно проявляется для июня и августа, для июля же в большей степени характерен линейный тренд примерно с 1980 г. и значительное увеличение в последние годы. Поэтому можно считать, что для летних месяцев в последние годы градиент пространственного поля температур стал больше.

Параметр же A_0 для июля, характеризующий среднюю региональную температуру, наоборот уменьшился с начала 1980-х гг. и особенное его уменьшение имело место в 2008–2010 гг., а для июня и августа он ступенчато уменьшился в середине 1990-х гг. Уменьшение средней региональной температуры в летние месяцы вместе с тем компенсируется ее ростом в апреле и октябре, что практически мало сказалось на среднегодовой температуре, которая имеет ступенчатый рост но всего при $\Delta_{ст} = 10,7 \%$. Наиболее существенные нестационарности имеют место в параметре внутренней неоднородности поля ASe для июня, который растет (рис. 3), но в тоже время для коэффициентов функции внутригодовых колебаний нестационарность связана с их уменьшением, что свидетельствует о формировании их более однородного поля в последние годы (табл. 2).

Здесь же можно отметить, что если строить пространственные модели за весь период наблюдений, включая и восстановленные данные, то число нестационарных временных рядов их параметров будет существенно больше за счет отдельных экстремумов в восстановленных данных, имеющих большие погрешности. Если же рассматривать весь период, но с учетом корректировки, т.е. исключения восстановленных экстремумов с существенными погрешностями, то результаты по оценке стационарности параметров будут практически такими же, как и в табл. 2 для последнего периода наблюдений.

Пространственные статистические модели были построены также и для сумм осадков каждого месяца и результаты оценки стационарности их параметров A_1 , A_0 и ASe во времени приведены в табл. 3 для последнего 50-летнего периода.

Таблица 2

Характеристики моделей временных рядов для параметров пространственных моделей температур воздуха на Аравийском полуострове за период 1960–2011 гг.

Месяц	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
Параметр A_1									
1	1,6	7,2	1,03	1,16	1972	1960	2011	52	0,18
2	0,6	4,9	1,01	1,11	1980	1960	2011	52	0,11
3	0	6,7	1	1,15	2001	1960	2011	51	-0,01
4	2,9	6,5	1,06	1,14	1972	1960	2011	52	-0,24
5	0,5	2,6	1,01	1,05	2000	1960	2010	51	0,1
6	10	12,4	1,23	1,3	1994	1960	2010	51	0,44
7	17,1	15,2	1,46	1,39	1980	1960	2010	51	0,56
8	13,9	25,4	1,35	1,8	1996	1960	2010	51	0,51
9	0,6	2,4	1,01	1,05	1997	1960	2010	51	0,11
10	2,7	4,7	1,06	1,1	1991	1960	2010	51	-0,23
11	0,7	2,6	1,01	1,05	1971	1960	2010	51	0,12
12	1,2	5,3	1,02	1,11	1970	1960	2010	51	0,16
$T_{год}$	0,4	5,5	1,01	1,12	1938	1928	2011	84	-0,09

Месяц	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
<i>B1</i>	2,2	5,2	1,05	1,11	1951	1906	2011	100	-0,21
<i>B0</i>	0,7	5,4	1,01	1,12	2001	1941	2011	70	-0,12
<i>Se</i>	1,3	2,5	1,03	1,05	1972	1938	2011	70	-0,16
Параметр <i>A0</i>									
1	0,3	4,2	1,01	1,09	1972	1960	2011	52	-0,08
2	0	2,6	1	1,05	1999	1960	2011	52	-0,01
3	0,3	8,4	1,01	1,19	2001	1960	2011	51	0,07
4	5,8	8,8	1,13	1,2	1972	1960	2011	52	0,34
5	0,6	3,4	1,01	1,07	1988	1960	2010	51	0,11
6	5,6	7,4	1,12	1,17	1996	1960	2010	51	-0,33
7	12,8	12	1,31	1,29	1980	1960	2010	51	-0,49
8	8,2	17,9	1,19	1,48	1996	1960	2010	51	-0,4
9	0,1	2,1	1	1,04	1979	1960	2010	51	0,04
10	7	8,8	1,16	1,2	1991	1960	2010	51	0,37
11	0	1,4	1	1,03	1971	1960	2010	51	0,01
12	0	2	1	1,04	1970	1960	2010	51	0
$T_{год}$	7,5	10,7	1,17	1,26	1998	1944	2010	64	0,38
<i>B1</i>	1,8	5,6	1,04	1,12	1963	1934	2010	73	-0,19
<i>B0</i>	0,2	3,5	1	1,07	1948	1934	2010	74	-0,06
<i>Se</i>	2,1	5,9	1,04	1,13	1993	1942	2010	69	-0,2
Параметр <i>ASe</i>									
1	0,5	3	1,01	1,06	1970	1960	2011	52	-0,1
2	0,1	1,7	1	1,04	2001	1960	2011	52	0,04
3	1,6	7,1	1,03	1,16	2000	1960	2011	51	0,18
4	0	3,1	1	1,06	1999	1960	2011	52	0
5	1,1	8,9	1,02	1,2	1999	1960	2010	51	0,15
6	1,9	10,4	1,04	1,25	1998	1960	2010	51	0,19
7	3,8	5,7	1,08	1,13	1996	1960	2010	51	0,27
8	2,1	6,2	1,04	1,14	1995	1960	2010	51	0,2
9	2,4	5,7	1,05	1,12	1999	1960	2010	51	0,22
10	5,6	8,5	1,12	1,19	1972	1960	2010	51	-0,33
11	0	2,5	1	1,05	2000	1960	2010	51	0
12	0	0,9	1	1,02	1970	1960	2010	51	0,01
$T_{год}$	0,6	6,2	1,01	1,14	1963	1944	2010	64	-0,11
<i>B1</i>	6,5	14,1	1,14	1,35	1963	1934	2010	73	-0,36
<i>B0</i>	7,1	13,1	1,16	1,32	1963	1934	2010	74	-0,37
<i>Se</i>	5,1	13	1,11	1,32	1966	1942	2010	69	-0,32

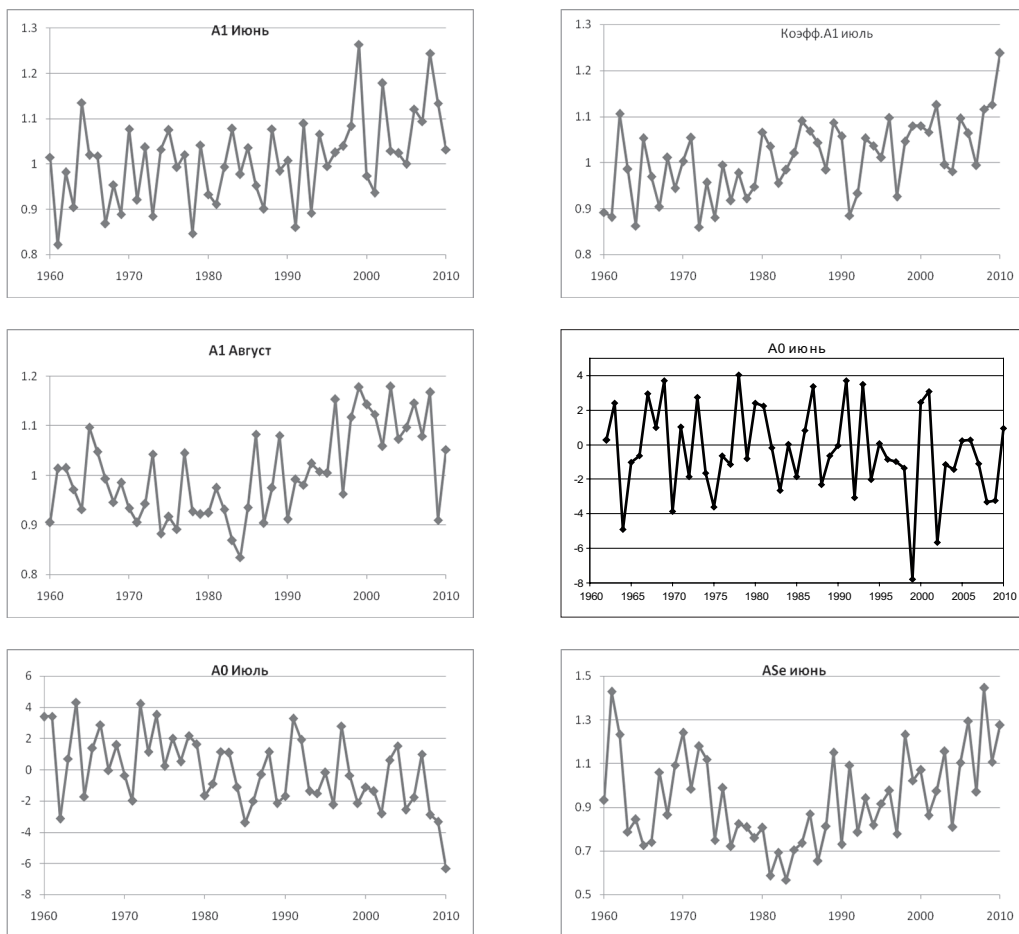


Рис. 3. Нестационарные ряды коэффициентов A_1 , A_0 и A_{Se} для температур летних месяцев на Аравийском полуострове

Таблица 3

Характеристики моделей временных рядов для параметров пространственных моделей осадков на Аравийском полуострове за период 1960–2011 гг.

Месяц	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
Параметр A_1									
1	0,8	6	1,02	1,13	1994	1960	2005	45	0,12
2	11,4	19	1,27	1,52	1975	1961	2010	38	-0,46
3	0,1	2	1	1,04	1992	1960	2011	48	-0,05
4	0	3,4	1	1,07	1995	1960	2010	50	0,03

Месяц	$\Delta_{тр}, \%$	$\Delta_{ст}, \%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{кон}$	n	R
5	2,9	10,2	1,06	1,24	1997	1960	2010	49	0,24
6	0,2	0,9	1	1,02	1978	1960	1999	34	0,06
7	0	4,2	1	1,09	1973	1960	2003	39	-0,02
8	0	2,9	1	1,06	1995	1960	2010	46	0,02
9	1,8	7,4	1,04	1,17	1973	1960	1999	32	-0,19
10	7,1	10,5	1,16	1,25	1976	1960	2009	46	0,37
11	5,3	14	1,12	1,35	1970	1960	2009	48	-0,32
12	4,1	6,8	1,09	1,15	1993	1960	2009	45	0,28
Параметр A0									
1	0,8	4,2	1,02	1,09	1994	1960	2005	45	-0,12
2	10,5	19,3	1,25	1,54	1975	1961	2010	38	0,45
3	1	4,5	1,02	1,1	1992	1960	2011	48	0,14
4	4,6	12,6	1,1	1,31	1995	1960	2010	50	-0,3
5	2,6	6,9	1,05	1,15	1986	1960	2010	49	-0,23
6	1,6	1,3	1,03	1,03	1982	1960	1999	34	-0,18
7	0,6	3,2	1,01	1,07	1971	1960	2003	39	-0,11
8	0,1	1,7	1	1,04	1989	1960	2010	46	0,04
9	0,1	5,7	1	1,12	1971	1960	1999	32	0,05
10	0,1	1,2	1	1,02	1977	1960	2009	46	-0,05
11	4,4	7,8	1,09	1,18	1970	1960	2009	48	0,29
12	1,4	2	1,03	1,04	1976	1960	2009	45	-0,16
Параметр ASe									
1	0,6	4,4	1,01	1,09	1985	1960	2003	44	-0,11
2	1,8	3,6	1,04	1,08	1981	1961	2010	38	-0,19
3	0,4	1,2	1,01	1,03	1985	1960	2011	48	0,09
4	4	3,6	1,09	1,08	1984	1960	2010	50	-0,28
5	0,8	3,6	1,02	1,08	1991	1960	2010	49	-0,13
6	0,2	0,6	1	1,01	1978	1929	1999	35	0,07
7	0,2	1,6	1	1,03	1973	1960	2003	39	-0,06
8	0,2	3,5	1	1,07	1995	1960	2010	46	0,06
9	2,1	5,6	1,04	1,12	1982	1960	1999	32	-0,2
10	2,9	6,2	1,06	1,14	1977	1960	2009	46	0,24
11	2,5	6	1,05	1,13	1980	1960	2009	48	-0,22
12	0,4	3,5	1,01	1,07	1971	1960	2009	45	-0,09

Из результатов табл. 3 следует, что нестационарность пространственного градиента осадков (параметр A1) имеет место в основном в феврале и ноябре и связано с его уменьшением, т.е. поле осадков в эти месяцы становится более равномерным.

Временные графики параметра $A1$ для этих месяцев показаны на рис. 4, из которых видно, что с начала 1980-х гг. ступенчато уменьшилось как среднее значение (практически в 2 раза), так и дисперсия. Наиболее существенно значение параметра $A0$ увеличилось только в феврале, а в апреле произошло его не столь значимое ступенчатое уменьшение также в 1980-х гг. Временные ряды параметра ASe , связанного с неоднородностью поля осадков, являются стационарными.

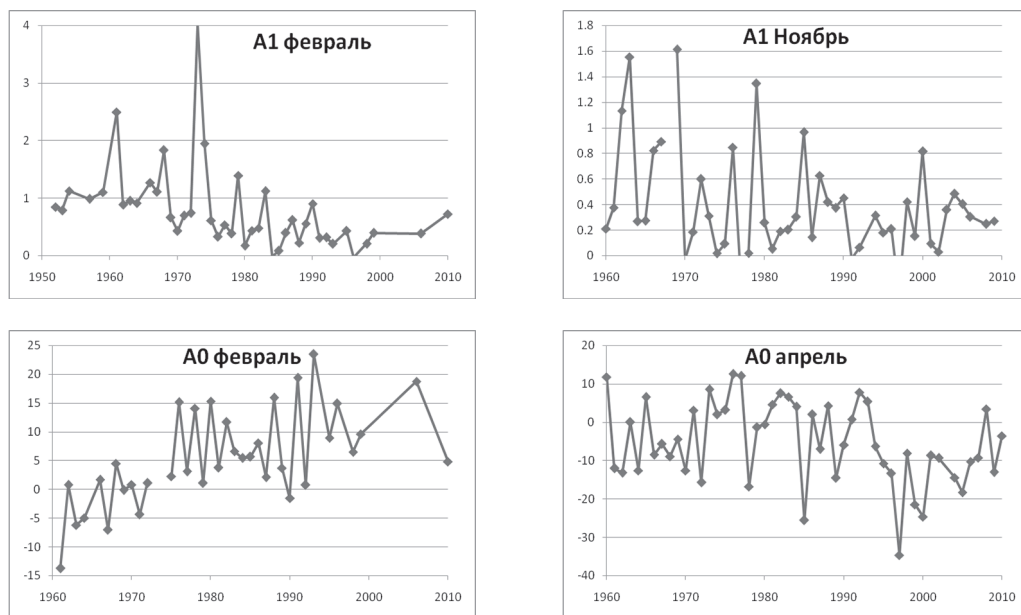


Рис. 4. Нестационарные ряды коэффициентов $A1$ и $A0$ для осадков на Аравийском полуострове

В целом из проведенного исследования и моделирования можно сделать следующие основные выводы:

- помимо подтверждения известных климатических закономерностей, что на Аравийском полуострове зимой теплее прибрежные области, а летом — внутренние пустынные, получены численные значения пространственного градиента нормы температуры, составляющие до 20°C зимой и до 10°C летом; установлено, что изменчивость многолетних колебаний температур наименьшая на юге и юго-востоке, а наибольшая — на севере и в центре; климатические нормы температур нестабильны примерно для половины станций, хотя направленный рост норм имеет место для небольшого числа станций и в основном в летний период;
- осадков чуть больше в прибрежных, особенно холмистых и горных частях полуострова, чем во внутренних; по территории они изменяются в холодный период от 2 мм в прибрежных районах юга и запада до 30 мм и даже до 70 мм на северо-востоке, а в теплый, наоборот, от 0,1–1 мм на севере и в центральной части до 60–70 мм в прибрежных юго-западных районах; изменчивость осадков зависит

- от абсолютной величины и достигает до 50 % от их нормы, в то время как сами нормы осадков остаются практически стабильными;
- проведенный анализ стабильности параметров построенных пространственных статистических моделей температур и осадков свидетельствует о том, что они практически не изменяются во времени за исключением роста пространственного градиента поля температур и уменьшения их средних региональных значений в летние месяцы.

Литература

1. *Закс Л.* Статистическое оценивание. — М.: Статистика, 1976. — 598 с.
2. *Казакевич Д.И.* Основы теории случайных функций в задачах гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 230 с.
3. *Лобанов В.А., Шукри О.А.А.* Оценка климатических изменений температуры воздуха и осадков на Аравийском полуострове. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 37, с. 72–83.
4. *Лобанов В.А., Шадурский А.Е.* Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 123 с.
5. *Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г.* Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. — Кострома: ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 2013 — 171 с.
6. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 2. — СПб., 2012. — 141 с.
7. *Лобанов В.А., Анисимов О.А.* Современные изменения температуры воздуха на территории Европы. // Метеорология и гидрология, 2003, № 2, с. 5–14.
8. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. — СПб.: РГГМУ, 2008. — 408 с.